

NILAI KEUNTUNGAN DARI PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA ATAP ON-GRID 100 kWp UNPAM VIKTOR

Ojak Abdul Rozak¹, Juhana², Barru Arrosyid³

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pamulang

^{1,2}A Jl. Raya Puspitek, Buaran, Pamulang, Kota Tangerang Selatan, Banten 15310, Indonesia

³Program Studi Teknik Elektro, Universitas Sutomo

³Jl. Raya Jakarta Km 5 No. 6, Kalodran, Kec. Walantaka, Kota Serang, Banten 42183, Indonesia

¹dosen01314@unpam.ac.id

²dosen00187@unpam.ac.id

³dosen_00859@unpam.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

diajukan : 16-05-2022
revisi : 27-05-2022
diterima : 28-06-2022
dipublish : 30-06-2022

ABSTRAK

Target kebijakan peningkatan pangsa energi terbarukan pada tahun 2025 tertuang dalam bauran energi nasional. Penggunaan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) atap oleh pelanggan perusahaan listrik negara (PLN) Persero, berperan aktif dalam pemanfaatan dan pengelolaan energi terbarukan untuk mencapai ketahanan dan kemandirian energi, khususnya energi surya. Lebih lanjut, pemasangan PLTS atap pada bangunan seperti perkantoran, rumah, gudang, tempat parkir dan fasilitas umum lainnya, maka Universitas Pamulang (UNPAM) Viktor berpartisipasi langsung dengan melaksanakan membangun PLTS atap berkapasitas 100 kWp. Tujuannya selain untuk mendukung kebijakan pemerintah, pemanfaatan potensi energi matahari *rooftop* Unpam serta meningkatkan potensi sumber daya manusia seluruh civitas akademika khususnya program studi teknik elektro sebagai bentuk integrasi tri dharma perguruan tinggi. Tahapan penelitian ini meliputi analisis bayangan menggunakan *helioscope*, perencanaan kebutuhan material, simulasi *PVsyst* untuk mengetahui potensi energi, analisis teknis dan ekonomi sehingga pembangunan PLTS atap ini dapat menguntungkan. Hasil simulasi, PLTS atap ini tidak terdampak dari bayangan, menggunakan photovoltaik *monocrystalline* 485 Wp berjumlah 108 unit dan inverter *on-grid* 40 kW sehingga potensi energi yang bisa dihasilkan mencapai 148.1 MWh/tahun, setelah masa garansi 25 tahun potensi energinya 125 MWh/tahun, nilai *payback period* 10 tahun dan dapat disimpulkan bahwa PLTS atap ini *profitable*.

Kata kunci: energi terbarukan; helioscope; pvsyst; photovoltaik; inverter

ABSTRACT

Value of Benefits from the Development of A 100 kWp On-Grid Roof Solar Power Plant UNPAM Viktor. The policy target for increasing the share of renewable energy by 2025 is contained in the national energy mix. The use of the rooftop solar power generation system (PLTS) by customers of the state electricity company (PLN) persero, plays an active role in the utilization and management of renewable energy to achieve energy security and independence, especially solar energy. Furthermore, the installation of PLTS Roofs on buildings such as offices, houses, warehouses, parking lots, and other public facilities. So, Viktor's Pamulang University (UNPAM) participated directly by building a PLTS roof with a capacity of 100 kWp. The aim is to support government policies, utilize the solar energy potential of UNPAM rooftop and increase the potential of human resources for the entire academic community, especially the electrical engineering department as a form of integration of the tri dharma of higher education. The stages of this research include shadow analysis using HelioScope, material requirements planning, PVSyst simulation to determine energy potential, and technical and economic analysis so that the construction of this rooftop PLTS can be profitable. The simulation results show that this rooftop PLTS is not affected by shadows, it uses 108 units of monocrystalline 485 Wp photovoltaic and a 40 kW on-grid inverter so that the potential energy that can be generated reaches 148.1 MWh/year, after a 25-year warranty period the energy potential is 125 MWh/year, the payback period is 10 years and it can be concluded that this rooftop PLTS is profitable.

Keywords: renewable energy; helioscope; pvsyst; photovoltaic; inverter

PENDAHULUAN

Prinsip utama penerapan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) atap *on-grid* di Indonesia berdasarkan Permen ESDM No.49 tahun 2018, jo, Permen No.13 tahun 2019, jo, Permen No.16 tahun 2019. Sebelum Permen No.49 tahun 2018. PLTS atap telah diatur penerapannya di Indonesia khusus bagi pelanggan PT. PLN (Persero) tertentu, berdasar ketentuan-ketentuan PLN yaitu pada Peraturan Direksi PT. PLN (Persero) No. 733.K/DIR/2013, tentang pemanfaatan energi listrik dari photovoltaik oleh pelanggan PLN; Keputusan Direksi PT. PLN (Persero) No. 357.K/DIR/2014, tentang

pedoman penyambungan pembangkit listrik energi terbarukan ke sistem distribusi PLN, dan Edaran Direksi No. 0009.D/DIR/2014, ketentuan operasional integrasi photovoltaik milik pelanggan ke dalam area sistem tenaga listrik PLN (ESDM, 2018).

Proses perencanaan ini menggunakan dua perangkat lunak untuk simulasi analisis bayangan dan potensi energi dilihat dari aspek teknis dan ekonomi sebagai bentuk kombinasi analisis. Dalam rencana pembangunan sistem PLTS Atap ini, dibutuhkan masukan data dan proses kalkulasi dari beberapa aspek teknis untuk mendapatkan komposisi sistem sesuai

kebutuhan energi listriknya. Hasil dari kalkulasi komposisi sistem ini nantinya jadi acuan dalam rencana anggaran belanja (RAB) pembangunan PLTS atap. Rencana komposisi sistem PLTS atap direncanakan oleh Tim Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang yang memiliki kapasitas dan kapabilitas dalam bidang PLTS tentunya.

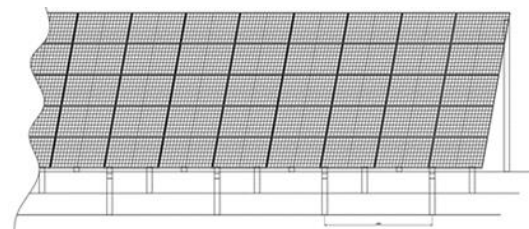
Rencana pembangunan PLTS atap ini untuk tujuan sosialisasi sistem PLTS atap, maka pemilihan lokasi mempertimbangkan bangunan yang dapat lebih terlihat dari tempat umum. Akan tetapi tujuan ini belum bisa tercapai karena kondisi *rooftop* UNPAM Viktor yang tidak terlihat dari tempat umum, akan tetapi dalam hal berbagi pengalaman terkait sistem PLTS Atap ini dapat dilakukan melalui penelitian dan pengabdian kepada masyarakat (PkM), dalam bentuk seminar maupun *workshop* yang akan dilakukan oleh civitas akademika UNPAM khususnya Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik UNPAM Viktor kedepannya.

TEORI

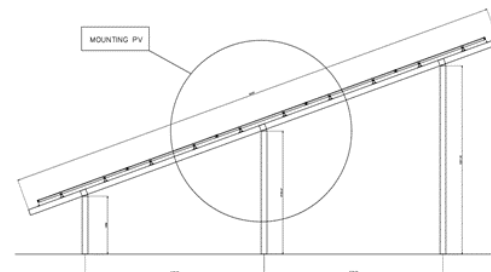
Bayangan pohon, gedung maupun bayangan dari panel surya merupakan objek penghalang yang harus dihindari dalam perencanaan pemasangan PV, agar sinar matahari yang mengenai modul surya dapat maksimal (Rachmi et al., 2020).

Kemiringan dalam pemasangan PV merupakan usaha yang dilakukan untuk memaksimalkan potensi energi yang dapat diserap sehingga meningkatkan efisiensi sistem (Nugraha et al., 2018). Desain konstruksi yang terpasang pada rooftop UNPAM Viktor untuk menempatkan solar panel (PV).

Kemiringan dalam pemasangan PV merupakan sebuah pengembangan penelitian yang dapat dilakukan dalam menentukan derajat kemiringan PV untuk meningkatkan efisiensi dengan cara yaitu menentukan derajat kemiringan optimal, menentukan derajat kemiringan optimal dengan metode *single axis*, menentukan derajat kemiringan optimal dengan metode *double axis* (Samsurizal et al., 2018).



Gambar 1. Layout penempatan PV modul (Tampak depan).(authors)



Gambar 2. Layout penempatan PV modul (Tampak samping).(authors)

Langkah pertama dari serangkaian tutorial yang menjelaskan penggunaan PVsyst versi 6, dan dapat dipahami sebagai panduan pengguna PVsyst. Ini berisi tiga tutorial berbeda yang menjelaskan aspek dasar simulasi pembuatan proyek yang terhubung dengan jaringan, konstruksi dan penggunaan adegan bayangan 3D, data meteorologi di PVsyst (Miyanti et al., 2022).

Lebih banyak tutorial sedang dalam persiapan dan akan ditambahkan di masa mendatang. Mereka akan menjelaskan lebih detail berbagai fitur PVsyst. Panduan referensi lengkap untuk PVsyst adalah bantuan online, yang dapat diakses dari

program melalui entri "bantuan" di menu, dengan menekan tombol F1 atau dengan mengklik *icon* bantuan jendela dan dialog.



Gambar 3. Simulasi perangkat lunak PVsyst. (Wittmer, 2017)

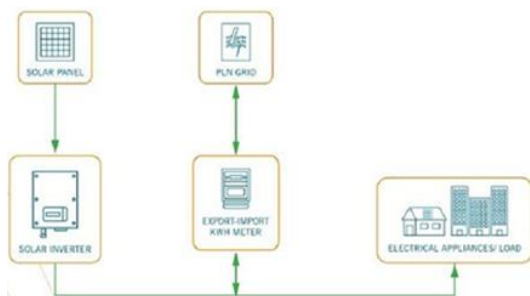
Biaya operasional, biaya *advertensi*, promosi; asuransi; pemeliharaan gedung, mesin, kendaraan, dan peralatan; tenaga kerja, gaji, komisi, bonus, tunjangan, dll.; administrasi dan umum (Cahyu, 2018).

NPV merupakan perbedaan antara nilai sekarang dari keuntungan dan biaya (Kusuma & Mayasti, 2014):

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{(Bt - Ct)}{(1+i)^t} \quad (1)$$

METODOLOGI

Sistem PLTS Atap yang akan disimulasikan terdiri atas komponen solar panel, inverter, terintegrasi ekspor-impor energi dengan sumber PLN, dan dihubungkan langsung ke beban.



Gambar 4. Komponen dan konfigurasi PLTS atap.

Alat-alat yang digunakan dalam analisa perancangan pembangunan PLTS atap ini ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Alat yang digunakan.

Nama Alat	Spesifikasi Alat	Fungsi Alat
Modul Photovoltaik (PV)	JAM72S10-400/PR	Konversi energi surya menjadi energi listrik
Inverter	SG40CX	Konversi DC menjadi AC
Software Simulasi	PVsyst	Uji kelayakan teknis dan ekonomi

Modul Photovoltaik (PV) jenis *mono-crystalline* digunakan dalam pembangunan PLTS atap UNPAM Viktor dan penentuan jenis PV ini dapat dijadikan pengembangan penelitian untuk menentukan jenis PV terbaik khususnya di *rooftop* UNPAM Viktor. Penelitian ini juga memerlukan dukungan sistem monitoring dalam analisisnya yang juga menjadi suatu pengembangan penelitian. Detail spesifikasi dari PV yang digunakan seperti terlihat pada tabel 2.

Tabel 2. Electrical parameters at STC.

Type of Panel	JAM72S10-400/PR
Rated Maximum Power (Pmax) [W]	400
Open Circuit Voltage (VOC) [V]	49.50
Maximum Power Voltage (Vmp) [V]	41.17
Short Circuit Current (Isc) [A]	10.26
Maximum Power Current (Imp) [A]	9.72
Modul Efficiency [%]	19.9
Type of Cell	Mono
Weight	22.7 kg ± 3%
Dimensions	2015±2mm x 966±2mm x 40±1mm

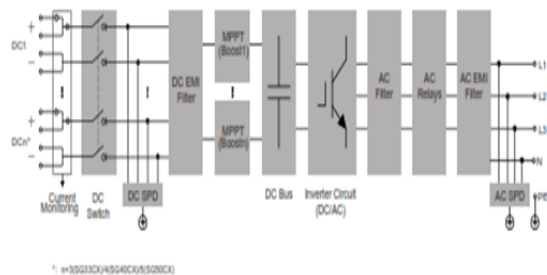
Komponen utama selanjutnya yang dipilih adalah inverter. Inverter yang digunakan dilengkapi dengan sistem proteksi *surge protection device* (SPD) sehingga sistem PLTS aman dari lonjakan

arus akibat *short circuit* maupun sambaran petir. Detail spesifikasi inverter yang digunakan seperti terlihat pada tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi inverter.

Type Designation	SG40CX
Input (DC)	
Max. PV Input Voltage	1000 V
Min. PV Input Voltage	200 V
Start-up Input Voltage	250 V
Nominal PV Input Voltage	585 V
MPP Voltage Range	200 – 1000 V
MPP Voltage Range for Nominal Power	550-850 V
No. of Independent MPP Inputs	4
Max. Number of PV Strings per MPP	2
Max. PV Input Current	104 A
Max. DC Short-circuit Current	160 A
Output (AC)	
AC Output Power	44 kVA
Max. AC Output Current	66.9 A
Nominal AC Voltage	3 / N / PE, 220 / 400 V
AC Voltage Range	312 - 528 V
Nominal Grid Frequency	45 – 55 Hz

CIRCUIT DIAGRAM



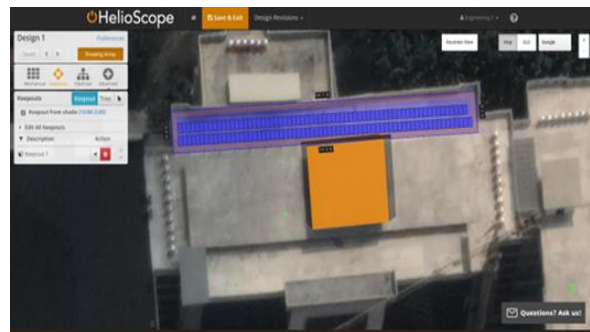
Gambar 5. Circuit diagram inverter yang digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam analisis bayangan ditentukan lokasi terbaik yang ada di *rooftop* UNPAM Viktor. Simulasi analisis bayangan dengan menggunakan perangkat lunak helioscope di bulan mei dan bulan desember diperlihatkan pada gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Analisis shading bulan mei.



Gambar 7. Analisis shading bulan desember.

Analisa karakteristik modul PV seperti terlihat pada tabel 4.

Tabel 4. Karakteristik modul PV.

PV Module	
Manufacturer	JA solar
Model	JAM72-S03-400-PR
Original PVsyst Database	
Unit Nom. Power	400 Wp
Number of PV modules	256 units
Nominal (STC)	102 kWp
Modules	16 Strings x 16 In series
At operating Cond. (50 °C)	
Pmpp	93.2 kWp
Umpp	591 Volt
Impp	158 Ampere
Total PV Power	
Nominal (STC)	102 kWp
Total	256 modules
Module area	514 m ²
Cell area	460 m ²

PV Model JAM72-S03-400-PR didapat nominal (STC) sebesar 102 kWp dari 16 *strings* dikali 16 hubung seri dengan total 256 modul. Analisis karakteristik inverter diperlihatkan pada tabel 5.

Tabel 5. Karakteristik inverter.

Inverter	
Manufacturer	Sungrow
Model	SG40CX
Custom Parameters Definition	
Unit Nom. Power	40.0 kWac
Number of inverters	2 units
Total power	80.0 kWac
Operating voltage	200-1000 Volt
Max. power ($\Rightarrow 25^{\circ}\text{C}$)	44.0 kWac
Pnom ratio (DC:AC)	1.28
Total Inverter Power	
Total power	80 kWac
Nb. of inverters	2 units
Pnom Ratio	1.28

Dengan menggunakan inverter model SG40CX yang memiliki kapasitas 40 kWac dengan jumlah inverter sebanyak sebanyak 2 unit, sehingga kapasitas inverter menjadi 80 kWac. Pada tegangan kerja 200–1000-Volt, daya maksimal pada suhu 25°C adalah 44.0 kWac dan memiliki perbandingan daya *input/output* sebesar 1.28.

Tabel 6. Hasil simulasi pembangkitan energi.

Bulan	Amb. Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Energi Grid (MWh)
Januari	25.64	9.84
Februari	25.62	11.10
Maret	26.09	11.37
April	26.04	12.40
Mei	26.60	12.35
Juni	25.86	12.49
Juli	25.85	13.32
Agustus	26.04	13.58
September	26.07	13.20
Oktober	26.70	13.74
November	25.95	11.30
Desember	25.95	10.39
	26.04	148.08

Energi *grid* tertinggi pada bulan Oktober sebesar 13.74 MWh dan terendah pada bulan Januari sebesar 9.84 MWh, sementara total energi *grid* per tahun sebesar 148.1 MWh.

Pembangkitan energi total selama 25 tahun pembangkitan masih di 125 MWh/tahun dengan PR Loss 13.8% seperti terlihat pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil simulasi pembangkitan energi.

Year	Energi Grid (MWh)	Performance Ratio (PR)	PR Loss (%)
1	145.1	0.814	0
2	144.5	0.811	-0.4
3	143.9	0.808	-0.8
4	143.3	0.804	-1.3
5	142.5	0.800	-1.8
6	141.7	0.795	-2.3
7	140.7	0.798	-3.0
8	139.7	0.784	-3.7
9	138.7	0.778	-4.4
10	137.8	0.773	-5.0
11	136.9	0.768	-5.7
12	136.1	0.764	-6.2
13	135.4	0.760	-6.7
14	134.7	0.756	-7.2
15	134.0	0.752	-7.6
16	133.4	0.748	-8.1
17	132.8	0.745	+8.5
18	132.2	0.742	-8.9
19	131.6	0.738	-9.3
20	130.8	0.734	-9.6
21	129.9	0.729	-10.5
22	128.8	0.723	-11.2
23	127.6	0.716	-12.1
24	126.3	0.709	-12.9
25	125.0	0.702	-13.8

Tabel 8. Biaya instalasi

Item	Qty (Unit)	Cost (IDR) (000)	Total (IDR) (000)
PV modules			
JAM72-S03-400-PR	256	2.610	668.160
Supports for modules	256	369,313	94.544
Inverters			
SG40CX	2	85.000	170.000
Other components			
Wiring	1	598.016	598.016
Monitoring & measurement system	1	483.179	483.179
Installation			
Civil		45.000	45.000
Installation		45.000	45.000
Electrical		45.000	45.000
Net Metering (PLN)	1	10.000	10.000
Taxes			
VAT	0	2.113.899	2.113.899
Total			3.325.289
Aset Susut			932.704

Pada tabel 8 terlihat bahwa biaya investasi Rp. 3.325.289.250 memiliki aset susut Rp. 932.704.000 merupakan biaya instalasi. Sedangkan untuk biaya operasional yaitu mengenai biaya pemeliharaan baik reparasi maupun total (PPEX) dan termasuk instalasi (4,00 %) diperlihatkan pada tabel 9.

Tabel 9. Biaya operasional.

Item	Total (IDR/year)
Maintenance	
Reparation	6.800.000,00
Total (PPEX)	6.800.000,00
Including Installation (4.00 %)	11.327687,05

Analisa ekonomi didapat setelah 25 tahun garansi yang dimulai dari tahun 2022 menghasilkan nilai *payback period* selama 10 tahun dengan *net present value* (NPV) sebesar Rp 4.7319.1655.65.

Item	Start Year 2022
Income variation over time	4.00 %/year
Inflation	0.50 %/year
Production variation (aging)	0.00 %/year
Discount rate	
Financing Own Funds	2.325.289.175 IDR
Electricity sale	
Feed-in tariff	1.450 IDR/year
Duration of tariff warranty	25 years
Annual tariff variation	+3 % year
Feed-in tariff decrease after warranty	0.50,00 %
Return on investment (RoI)	
Payback period	10.0 year
Net present value (NPV)	4.7319.1655.65 IDR
Return on investment (ROI)	203.5 %

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi perangkat lunak PVsyst bahwa pembangunan PLTS atap ini secara teknis memiliki kestabilan pembangkitan energi hingga 25 tahun waktu garansi dengan hanya 13.8 % *performance*

ratio (PR) *loss*. Secara ekonomi pembangunan PLTS atap ini juga dapat dikatakan sebagai investasi yang *profitable* (menguntungkan) karena memiliki nilai periode pengembalian biaya investasi hanya selama 10 tahun.

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji serta rasa syukur kehadirat Allah, atas selesainya penelitian ini. Penulis menghaturkan terima kasih kepada Ketua Yayasan Sasmita Jaya, Bapak Dr. (HC) H. Darsono; Rektor Universitas Pamulang, Bapak Dr. H. E. Nurzaman, AM., M.M., M.Si. beserta jajaran; Ketua PINTER Universitas Pamulang, Bapak Dr. Pranoto, SE.; Dekan Fakultas Teknik UNPAM, Bapak Syaiful Bakhri, S.T., Meng.Sc., Ph.D.; Kaprodi Teknik Mesin UNPAM, Bapak Nur Rohmat, S.Si., M.T.; Kaprodi Teknik Elektro UNPAM, Bapak Ariyawan Sunardi, S.Si., M.T.; Wakil Kaprodi Teknik Elektro UNPAM, Bapak Seflahir Dinata, S.T., M.Pd.T.; Sekprodi Teknik Elektro UNPAM, Bapak Heri Kusnadi, S.T., M.T.; Alumni Teknik Elektro UNPAM, Bapak Kukuh Prasetyo, S.T.; dan Seluruh civitas akademika di lingkungan Program Studi Teknik Elektro UNPAM.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyu. (2018). Analisis Biaya Operasional Berkaitan Dengan Profitabilitas (NPM) Pada Perusahaan Otomotif yang Terdaftar di Bursa Efek Indonesia (BEI) periode 2013-2016. In *Ekonomi Dan Bisnis* (Issue 1).
- ESDM. (2018). *Peraturan Menteri ESDM Nomor 49 Thn 2018 Tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT. PLN (Persero)*. 18.
- Kusuma, P. T. W. W., & Mayasti, N. K. I. (2014). Analisa kelayakan finansial

- pengembangan usaha produksi komoditas lokal: mie berbasis jagung. *AgriTech*, 34(2), 194–202. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Miyanti, Praing, A. A., & Saputra, R. E. (2022). Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Di Atap Gedung Kantor Gojek Giwangan, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Miyanti1, Anwar Agung Praing1, Rizky Eka Saputra1* 1, July, 0–7.
- Nugraha, I. M. A., Ridhana, P. A., & Listuayu, K. (2018). Optimasilasi Pemasangan Panel Solar Home System Untuk Kehidupan Masyarakat Pedesaan Di Ban Kubu Karangasem. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 17(1), 116. <https://doi.org/10.24843/mite.2018.v17i01.p16>
- Rachmi, A., Prakoso, B., Hanny Berchmans, Devi Sara, I., & Winne. (2020). Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS atap di Indonesia. *PLTS Atap*, 94.
- Radwitya, E., Chandra, Y., Ketapang, P. N., & Rangga, J. (2020). Perencanaan Plts on Grid Dilengkapi Panel Ats Di Laboratorium Teknik Elektro Politeknik Negeri Ketapang. *Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control) Teknik Elektro-Universitas Pamulang*, 3(1), 52–58. <https://doi.org/10.32493/epic.v3i1.5740>
- Samsurizal, Makkulau, A., & Christiono. (2018). Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Arus Keluaran Pada Photovoltaic Dengan Menggunakan. *Jurnal Energi & Kelistrikan*, 10(2), 137–144.
- Sungrow. (2019). Multi-MPPT String Inverter for 1000 Vdc System. *Sungrow Power Supply Co., Ltd. All*, 3, 5–6.
- Wittmer, A. M. and B. (2017). PVsyst_Tutorials_V6_Grid Connected. *PVsyst*, 1, 43.